

УДК 621.791.75.037

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ РАЗНЫМИ СПОСОБАМИ

Д.А. Чинахов, М.К. Скаков*, А.В. Градобоев, Б.К. Увалиев*, В.В. Шаров*

Юргинский технологический институт (филиал) ТПУ

E-mail: Zver73@rambler.ru

*Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: Baurghan_83@mail.ru

Рассматривается проблема сварки легированных сталей в щелевую разделку. Описаны результаты исследований микроструктуры и механических свойств многослойных сварных соединений из стали 30ХГСА, выполненных традиционным и разработанным способом сварки. Установлено, что разработанный способ сварки обеспечивает надежное качество шва с улучшенной микроструктурой и повышение механических свойств сварных соединений с щелевой разделкой.

Ключевые слова:

Способ сварки легированных сталей, микротвердость, микроструктура, механические свойства, многослойные сварные соединения.

Сварочные процессы протекают по сложным физико-химическим законам при высокой температуре. Оценка влияния большинства параметров на сварочные процессы рассчитывается приближенно по номограммам или эмпирическим формулам, составленным на основе статистических данных 30–40 летней давности [1]. Выбор способа и наилучших режимов сварки легированных сталей, работающих в разных условиях, связан с некоторыми затруднениями: трудоемкость и длительность выполнения исследования, значительные материальные затраты, что ограничивает количество вариантов рационального решения. Кроме того, полученные математические модели и зависимости не дают визуального представления о протекании процессов сварки [2].

Сталь 30ХГСА относится к группе термически упрочняемых сталей чувствительных к скоростям охлаждения. Это в значительной степени сказывается на свойствах сварных соединений и требует последующей термической обработки. Структура и свойства сварных соединений из стали 30ХГСА связаны с технологическим процессом сварки и зависят от выбранного способа и режимов (фронт газовой защиты, скорость сварки, напряжение дуги, сила сварочного тока, температура предварительного подогрева, температура последующей термообработки и т. д.). Помимо этого, быстро протекающие процессы в сварочной ванне создают неравновесные условия кристаллизации, а незавершенность процессов диффузии и конвективного массопереноса обуславливает химическую и структурную неоднородность [3], что снижает эксплуатационные свойства изделий и в большинстве случаев приводит к преждевременному разрушению. Наибольшую опасность представляет зона сплавления наплавленного металла с основным (околошовная зона), где наблюдается повышенная химическая и структурная неоднородность, а также пик концентрации внутренних сварочных напряжений. Для оценки качества сварных соединений существует много методов [4].

Цель данной работы – изучение изменений микроструктуры и механических свойств многослойных сварных соединений из стали 30ХГСА, полученных различными способами сварки плавлением.

Как известно, микротвердость связана со всеми механическими характеристиками, и ее измерение позволяет оценить прочностную однородность сварного соединения [5]. Определяющим является измерение микротвердости не только в металле шва или в зоне термического влияния (ЗТВ), а по всему сечению сварного образца, т. к. перепад значений твердости на 20 % свидетельствует о пиковых изменениях твердости и необходимости после-сварочной термообработки [6].

Для оценки эксплуатационной надежности сварных соединений из стали 30ХГСА и изучения распределения микротвердости провели экспериментальные исследования с применением следующих способов сварки:

1. Традиционный – сварка стационарной дугой с предварительным подогревом до температуры 350 °С и последующей термической обработкой при температуре 600 °С. Представленные в настоящей работе данные относятся к случаю, когда предварительные нагрев и термическая обработка не проводились.
2. Разработанный – сварка стационарной дугой с двухструйной газовой защитой без предварительного нагрева и термической обработки.

В ранее проведенных исследованиях установлено, что легированные стали целесообразно сваривать при силе тока не более 200 А низкоуглеродистой проволокой диаметром не более 1,2 мм [7, 8]. Во всех случаях производили механизированную многопроходную сварку поворотного стыка трубы диаметром 90 мм с толщиной стенки 20 мм в среде CO₂ в щелевую разделку шириной 8 мм сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм.

Режимы сварки образцов по традиционному способу определили на основе анализа зависимости

сти механических характеристик многослойных сварных соединений стали 30ХГСА от параметров термического цикла сварки ($T_{\text{под}}$ – температура предварительного подогрева; $T_{\text{то}}$ – температура последующей термической обработки; $I_{\text{св}}$ – сила сварочного тока) [8]. Для сварки образцов по I и II способам был выбран режим $I_{\text{св}}=170...185$ А, $U_{\text{д}}=26...27$ В, $V_{\text{св}}=14...15$ м/ч, $V_{\text{г}}=8...8,5$ л/мин.

Исследование микроструктуры проводили на металлографическом микроскопе НЕОРНОТ-21, а измерение микротвердости на ПМТ-3. На рис. 1 представлена схема измерения твердости и микротвердости многослойных сварных образцов.

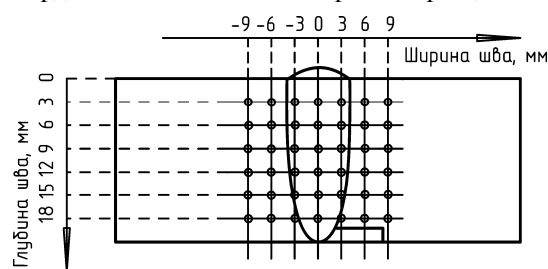


Рис. 1. Схема измерения твердости и микротвердости на многослойном сварном образце

Металлографические исследования образцов, сваренных I способом, показали, что металл шва (рис. 2, а) имеет крупнозернистую феррито-перлитную структуру. В зоне сплавления (рис. 2, б) отчетливо виден переход от металла шва к основному (участок неполного расплавления (рис. 2, в) – видманштеттова структура. Отчетливо видна граница бывших аустенитных зерен. Структура участка перегрева (рис. 2, г), по нашему предположению, представляет собой отпущенную бейнитную структуру с ферритными зернами [9]. Участок нормализации (рис. 2, д) характеризуется мелкими зернами феррита с темными составляющими по границам. Микроструктура основного металла (рис. 2, е) представлена игольчатыми зернами феррита и перлита.

На рис. 3 представлена микроструктура образца, сваренного II способом. Структура металла шва представляет собой смесь зерен феррита и перлита (рис. 3, а). Зерна феррита крупные. Зерна его располагаются либо в стыках, либо вдоль границ зерен феррита, либо оконтуривают их. На рис. 3, б, виден переход в зоне сплавления, что свидетельствует о малом пребывании металла в жидком состоянии. Однако можно заметить присутствие элементов наплавленного металла в основном металле, и наоборот, элементов основного металла – в металле шва, что говорит о хорошем перемешивании расплавленного металла в сварочной ванне.

Это обеспечивает высокую работоспособность сварного соединения. На участке неполного расплавления (рис. 3, в) выявлены ферритные зерна вытянутой формы. Структура участка перегрева показана на рис. 3, г. Скорее всего, это бейнитная структура с ферритными прослойками. Природа темной составляющей внутри пока неизвестна. Для структуры участка нормализации (рис. 3, д) характерны мелкие равноосные зерна феррита. Основной металл (рис. 3, е) имеет игольчатую форму зерен феррита и перлита.

На рис. 4 приведен график изменения микротвердости образца, полученного I способом. Измерение проводили на расстоянии 9,5 мм от верхней поверхности сварного соединения (см. рис. 1). На графике видно, что микротвердость в ЗТВ имеет повышенное значение по сравнению с остальными участками. Средние значения микротвердости \bar{H}_{μ} металла шва, ЗТВ и основного металла (матрицы) соответственно равны: 1824, 3091, 2823 МПа. Относительная ошибка составляет $\pm 5\%$.

На рис. 4 приведен график изменения микротвердости образца, полученного I способом. Измерение проводили на расстоянии 9,5 мм от верхней поверхности сварного соединения (см. рис. 1). На графике видно, что микротвердость в ЗТВ имеет повышенное значение по сравнению с остальными участками. Средние значения микротвердости \bar{H}_{μ} металла шва, ЗТВ и основного металла (матрицы) соответственно равны: 1824, 3091, 2823 МПа. Относительная ошибка составляет $\pm 5\%$.

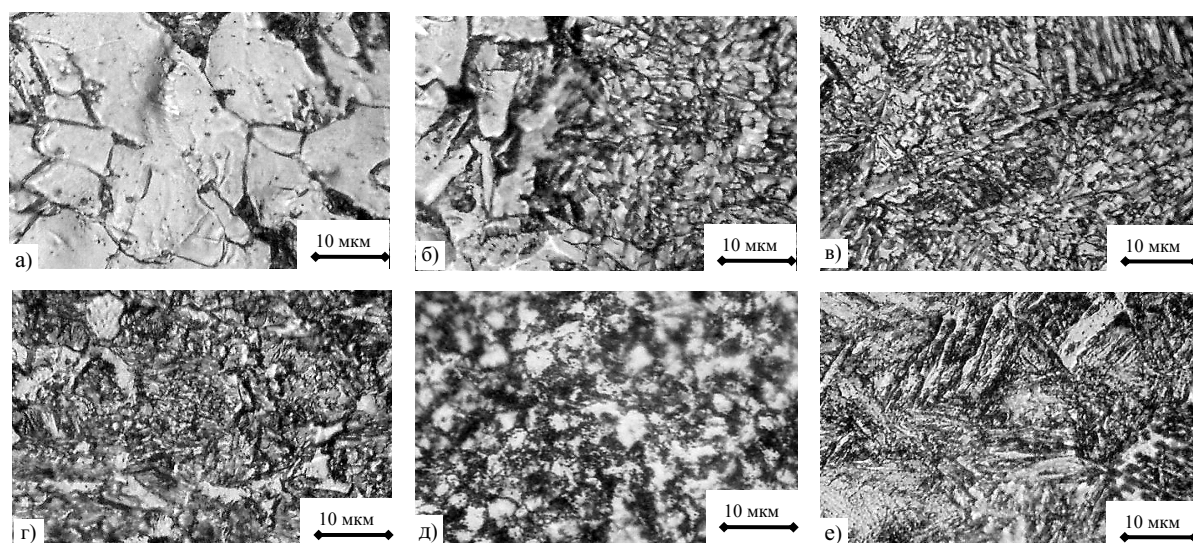


Рис. 2. Микроструктура сварного соединения из стали 30ХГСА, полученного I способом: а) металл шва, б) зона сплавления, в) участок неполного расплавления, г) участок перегрева, д) участок нормализации, е) основной металл

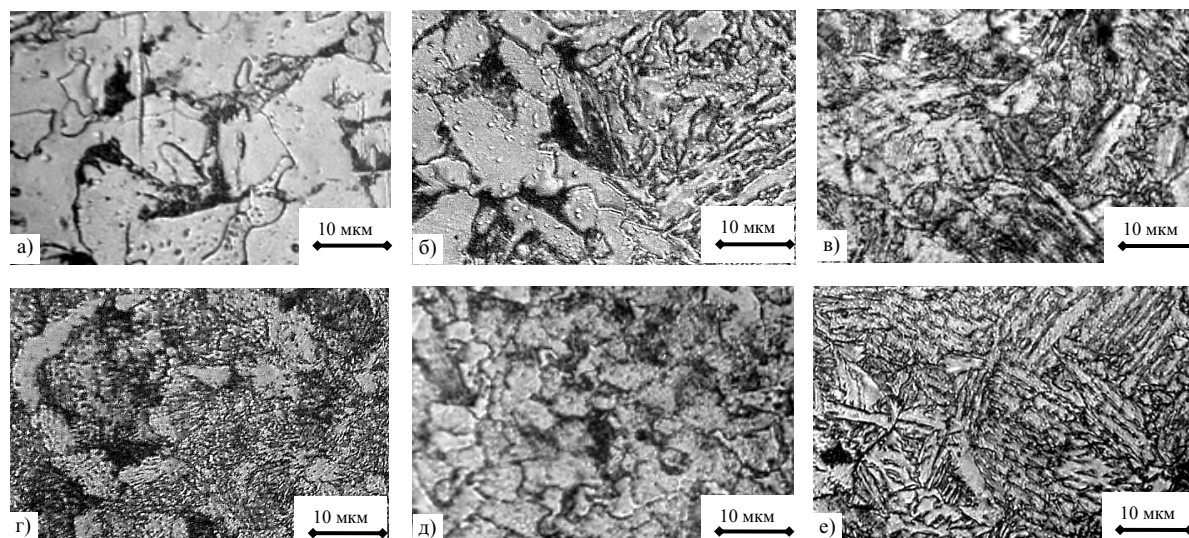


Рис. 3. Микроструктура сварного соединения из стали 30ХГСА, полученного II способом: а) металл шва, б) зона сплавления, в) участок неполного расплавления, г) участок перегрева, д) участок нормализации, е) основной металл

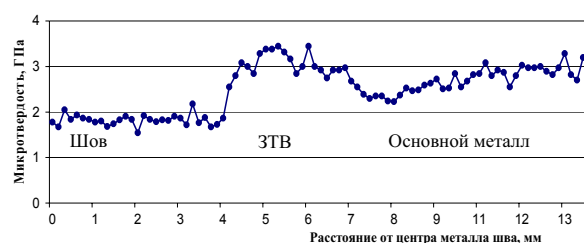


Рис. 4. Изменение микротвердости в сечении сварного соединения, выполненного I способом

Так как сварные соединения являются многослойными, были проведены измерения для каждого слоя. Рис. 5 показывает изменение микротвердости по центру металла шва в зависимости от глубины (см. рис. 1) в образцах, полученных I и II способами. Повышенные значения \bar{H}_μ облицовочных слоев и снижение \bar{H}_μ в средних слоях сварных соединений связаны с эффектом автотермообработки в многослойных соединениях. Высокое значение микротвердости в корневом шве обусловлено значительной долей основного металла.

На рис. 6 показано изменение микротвердости в сечении сварного соединения, полученного сваркой с двухструйной газовой защитой. Измерение проводили на расстоянии 4,58 мм от верхней поверхности сварного соединения. Из рис. 6 видно, что микротвердость в ЗТВ также повышается по сравнению с остальными участками, например, по отношению к основному металлу (матрице) она повысилась примерно на 20 % с учетом погрешности измерений. Средние значения микротвердости металла шва, ЗТВ и основного металла (матрицы) соответственно равны: 1912, 3484, 2813 МПа. Относительная ошибка составляет $\pm 7\%$.

В таблице представлены механические свойства образцов из стали 30ХГСА, сваренных различными способами сварки. Видно, что способ сварки с двухструйной газовой защитой обеспечивает более высо-

кие механические свойства, за исключением ударной вязкости. В соответствие с этим, представляется целесообразным провести комплекс исследований для повышения пластических свойств, при сохранении прочностных. Ранее было установлено [10], что комбинированная лазерная обработка, включающая в себя ударно-волновое и лазерное воздействие для стали 30ХГСА приводит к повышению механических свойств на 10 % как при статических, так и при динамических нагрузках по сравнению с аналогичными характеристиками необработанных образцов.

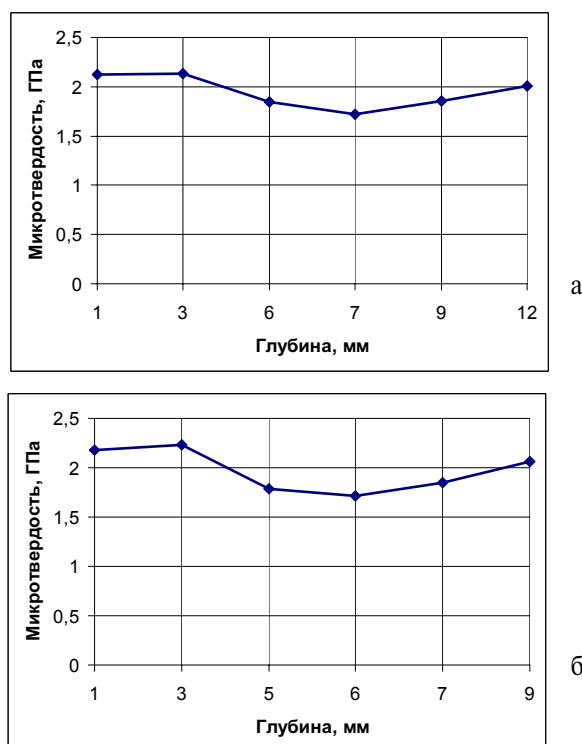


Рис. 5. Распределение микротвердости по центру шва в зависимости от глубины для образцов, полученных: а) I способом; б) II способом



Рис. 6. Изменение микротвердости в сечении сварного соединения, полученного II способом

Таблица. Результаты механических испытаний сварных образцов из стали 30ХГСА

Способ сварки	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Ударная вязкость, Дж/см ² при +20 °С		Твердость		Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
			С надрезом по центру шва	С надрезом по ЗТВ	Шва, HRB	ЗТВ, HRC		
Традиционный	540...640 590	435...535 485	138...150 144	121...163 142	86...90 88	22...23 22,5	11...13 12	64...66 65
Разработанный	750...790 770	590...610 600	88...126 107	106...176 133	93...98 95	24...26 25	13...14 13,5	59...60 59,5

Оптимальная скорость охлаждения для сталей типа 30ХГСА равна 6,3 °С/с [11]. Полученные результаты позволяют предположить, что скорость охлаждения стали была выше оптимальной, по-

скольку известно [12], что с увеличением скорости охлаждения получаемая структура в ЗТВ измельчается, а твердость её повышается.

Выводы

1. Способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в среде CO₂ приводит к образованию стабильных феррито-перлитных структур с размером зерен меньшим (в металле шва) по сравнению с традиционным способом сварки.
2. При многослойной сварке легированных сталей повышается микротвердость облицовочного и корневого слоев.
3. Механические свойства образцов, выполненных сваркой с двухструйной газовой защитой (статический предел прочности, микротвердость металла шва и зоны термического влияния), имеют более высокие значения по сравнению с традиционным способом, за исключением ударной вязкости.
4. Наиболее рациональным является способ сварки с двухструйной газовой защитой в среде CO₂, т. к. он обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник сварщика / Под ред. В.В. Степанова. — М.: Машиностроение, 1974. — 519 с.
2. Киселев А.С. Компьютерное моделирование тепловых, структурных и деформационных процессов при термических технологических воздействиях // Заводская лаборатория. — 1999. — № 10. — С. 41–48.
3. Ларионов Л.Н., Рябов В.Р. Диффузионные процессы в твердой фазе при сварке. — М.: Машиностроение, 1975. — 180 с.
4. Ханпатов М.В. Контроль качества сварных соединений. — М.: Стройиздат, 1979. — 133 с.
5. Харитонов Л.Г. Определение микротвердости. — М.: Металлургия, 1967. — 46 с.
6. Сараев Ю.Н., Полетика И.М., Козлов А.В., Кирилова Н.В., Никонова И.В., Салько А.Е. Влияние режима сварки на структуру, распределение твердости и механические свойства сварных соединений паропроводов // Сварочное производство. — 2002. — № 8. — С. 3–8.
7. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А., Шпигунова О.И. Способы повышения трещиностойкости сварных соединений легированных сталей типа 30ХГСА // Технология машиностроения. — 2001. — № 1. — С. 35–39.
8. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Регрессионные модели механических свойств многослойных сварных соединений стали 30ХГСА // Сварочное производство. — 2002. — № 5. — С. 3–5.
9. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений. — М.: Металлургия, 1977. — 287 с.
10. Кикин П.Ю., Пчелинцев А.И., Русин Е.Е. Механические свойства стали 30ХГСА после комбинированной лазерной обработки // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1992. — № 11. — С. 35–36.
11. Глимазенко Д.Л. Газовая сварка и резка металлов. — М.: Высшая школа, 1969. — 304 с.
12. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В. Фролова. — М.: Машиностроение, 1986. — 565 с.

Поступила 27.02.2008 г.